

植物自身控制害虫的作用

赵善欢 张 兴

(植保系)

提 要

本文介绍了植物与昆虫之间的关系、植物杀虫剂最近研究的进展、植物抗虫性的化学及其在抗虫育种中的作用、植物对昆虫的主动防御及其在害虫防治中应用的展望。主要从生物化学及生态学方面进行讨论,指出这四个问题具有内在的联系。对植物杀虫剂的深入研究,今后可能获得对环境安全而对害虫不产生抗药性的新一代农药。研究作物抗虫的遗传基因,可以培育出高抗优良品种。对于植物对害虫主动防御的探索,可以在害虫预测预报上获得新的进展。作者认为在我国开展植物自身控制害虫作用的研究具有深远的意义,将可使害虫综合治理获得划时代的突破。

植物与昆虫之间的关系

在大自然中,没有一种植物能逃脱昆虫的为害,但也有一种昆虫可在所有植物上取食生存。很明显,现存的每一种植物都不同程度的具有抵抗绝大多数植食性昆虫为害的机制,否则,它就会在生存竞争中被淘汰。而各种昆虫要求得生存,就得适应于植物抵抗机制的各种变化。所以,植物对昆虫的抵抗性是首要的,是第一性的,而昆虫对植物抵抗性的适应是相对的,是第二性的。植物对昆虫的抵抗性和昆虫对植物的适应、选择性之间的密切联系是在自然界发展过程中并列进化、反复循环而交互形成的。

自从人类对野生植物进行驯化而逐渐建立起农业生态体系后,使植物与昆虫之间的关系也发生了变化。害虫种类变得较专一化,而植物变得较为“娇气”,甚至有时如不人为的去保护则会致颗粒无收。一些高产品种如没有先进的防虫措施的保护,便很难实际推广。在保护措施中,使用化学杀虫剂无疑是一项主要的手段,但某些严重副作用的产生限制了其进一步的发展。为了获得害虫防治安全有效的方法,利用植物与害虫之间的关系来控制害虫种群的研究引起了人们的极大关注。在这方面,除了延用已久的利用植物物质直接防治害虫的研究近年来又有了新进展外,从植物抗虫机制的探讨而用于育种上也取得了显著的成就。特别值得注意的是近年来对植物主动防御机制的揭示,更将这一领域的研究引向了深入。这方面的研究蕴藏着极大的潜力,可能为今后农业害虫防治指出新的方向,而在理论和实践上是与作者之一(赵善欢,1962)提出杀虫药剂田间毒理学观点是有一定联系的。

植物物质杀虫剂的研究及进展

人们很早就观察到,某些植物除了其本身较少被昆虫为害外,还对其它昆虫有直接

的毒杀作用。早在公元前我国的几部古书如《周礼》、《神农本草经》、《汜胜之书》中已有记载。公元540年贾思勰所著的《齐民要术》中已有确切的描述。明朝李时珍所著的《本草纲目》(1596)、徐光启的《农政全书》(1639)中对杀虫植物的种类、分布及使用等方面作了详细的论述。这些早期的研究主要用于家庭卫生、人畜寄生虫及贮藏害虫的防治。近代以来,植物杀虫剂逐步用于农业生产,特别是烟草、鱼藤、除虫菊类的应用已达世界范围。我国解放后也发动了几次使用土农药的群众运动,并于1959年集体编写了《中国土农药志》。最近三十多年来,对植物杀虫剂活性物质的分离鉴定,作用方式及机制等方面作了较深入的研究,并在模拟合成方面有了突破。如优良的氨基甲酸酯类杀虫剂便是以毒扁豆碱为模板而合成的。特别是七十年代以来,在人工合成拟除虫菊酯研究中,运用了结构活性定量关系的技术而出现了三大突破,发掘了一批抗光解、高效甚至于超高效的优秀杀虫剂品种,为农药科学作出了卓越贡献。但这些品种均属于“速效型”的触杀、胃毒杀虫剂,与有害生物综合管理(IPM)原则的要求还有一定的距离。

总观近年来国际杀虫剂研究的进展,似乎有这样的趋势,就是越来越重视那些并不直接、快速杀死害虫的“缓效型”杀虫剂的发展。这类药剂并不使害虫种群数量发生立即明显变化致害虫死亡率达95%以上,而是对其种群的控制产生深远的、长期的作用。最大优点是易协调于综合防治的要求,有利于保护害虫天敌而可以比较长期有效地控制害虫种群的大发生。在这样的形势下,植物杀虫剂的研究便又重新引起了人们的重视,但在研究的内容和方向上发生了根本的改变:主要探讨那些对害虫具比较缓慢毒杀作用而又高效的特异性杀虫物质,如昆虫忌避剂、拒食剂和生长发育调节剂等。这类物质的生物靶标专一性强,作用方式和机制特殊而多样,对环境、人畜及其它有益生物比较安全,对环境保护具有良好的作用,较适于综合防治原则的要求。

国际上近年来在这一领域的研究是很活跃的。特别是对一种楝科植物——印楝(*Azadirachta indica*)广泛深入的研究,引起了科学家们的极大兴趣,掀起了一个国际性的研究热潮。曾在1980年6月及1983年5月在西德召开了两次国际印楝专门会议。1984年8月在菲律宾又召开了一次国际性的杀虫植物讨论会。会议上都提交有很多篇论文,内容非常丰富。我国近几年来也在这一方面作了不少工作。华南农业大学昆虫毒理研究室和有关单位协作自1980年以来,在主要研究楝科植物的基础上,先后曾对分属于30个科,50多种植物,以20多种农业害虫为试虫进行了忌避、拒食、内吸、触杀及抑制昆虫生长发育等方面一系列室内及田间试验,发现了一批有希望的品种,取得了可喜的成果(Cox, 1981; 华南农业大学昆虫毒理研究室, 1982, 1983)。

在植物杀虫剂研究中,发现对昆虫有特异性杀虫活性的物质可以划分为以下几类:

(一) 忌避及拒食性物质

为最为广泛研究的一类。据初步统计,截至1982年,世界上已正式报道且已鉴定了化学结构的,至少有129个化合物,对50多种昆虫作过测试(Koul, 1982)。

(二) 化学不育物质

如从喜树 (*Camptotheca acuminata*) 中分离出的喜树碱是一种目前所发现的最有效的不育剂(赵善欢, 1979)。

(三) 蜕皮激素及保幼激素类似物

Bowers等(1980)从罗勒 (*Ocimum basilicum*) 中分离出两种高活性的保幼激素类似物juvocimene I和II,可使大马利筋长蝽 (*Oncopeltus fasciatus*) 生成超龄幼虫。唇形科筋骨草 (*Ajuga*) 中含有蜕皮激素类似物 ajugarins (Schmutterer等, 1980)。Imai等(1969)对186个科的植物作过广泛筛选,发现80个科的植物中含有蜕皮激素类似物,并确定了40种蜕皮激素类似物的结构。

(四) 早熟素类物质

如从熊耳草 (*Ageratum houstonianum*)、胜红蓟 (*A. conyzoides*) 中可提出抗保幼激素类化合物,即现时人工合成的早熟素I和II (Bowers, 1976)。

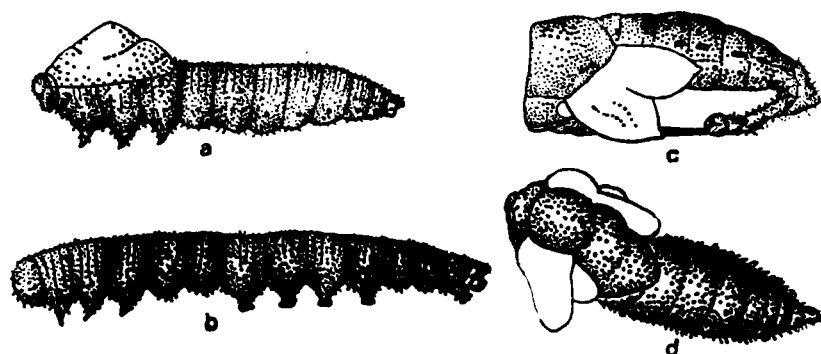
(五) 具麻痹作用的物质

苦树 (*Celastrus angulata*) 提取物对鳞翅目的菜青虫 (*Pieris rapae*), 粘虫 (*Mythimna separata*), 稻苞虫 (*Parnara guttatus*), 棉小造桥虫 (*Cosmophila erosa*) 等害虫有麻痹作用,麻痹试虫过一段时间后可以苏醒,重新取食后便可又进入麻痹状态(吴文君,等, 1983)。

(六) 具有熏杀作用的物质:

一些香精油、挥发油类,如山苍子油、香茅油、柑油等对玉米象 (*Sitophilus zeamais*)、米象 (*S. oryzae*) 有很强的熏杀效果(张兴等, 1983)。美国一刊物“C- itrograph” (1984, 69 (3): 56) 最近也报道,橙皮中含有对家蝇、虱子等卫生害虫具强烈熏杀作用的活性物质。

在近十多年的植物杀虫剂研究中,楝科植物为最主要的研究对象。从印楝、苦楝 (*Melia azedarach*)、川楝 (*Melia toosendan*) 中先后已提取出了13种三萜烯类化合物,对多种害虫表现出拒食、忌避、拒产卵、破坏表皮形成和生长发育调节作用 (Schmutterer等, 1980; 华南农学院昆虫毒理研究室, 1982; 1983)。到1982年从楝科植物中已分离出280多种柠檬素类化合物,其中不少对昆虫有生物活性 (Taylor, 1983)。其中以印楝提取物最为有效,如印楝素 (Azadirachtin) 40 μ g/kg的浓度对沙漠蝗 (*Schistocerca gregaria*) 即可产生100%的拒食效果,对秋粘虫 (*Laphygma frugiperda*)、斜纹夜蛾 (*Prodenia litura*)、棉铃虫 (*Heliothis zea*) 等多种害虫均表现出强烈地拒食活性。印楝提取物还可显著干扰昆虫的生长发育,可导致菜白蝶幼虫全部化为畸形蛹,使亚洲玉米螟 (*Ostrinia furnacalis*) 幼虫长期不化蛹而成“永久性”幼虫,对棉铃虫、红铃虫 (*Pectinophora gossypiella*)、粘虫等的生长发育均有抑制和干扰作用。有人报道,在我国广泛分布的苦楝中也含有印楝素。我国从川楝中分离出了川楝素和衍生物川楝素肟,对菜青虫、斜纹夜蛾等多种害虫也有显著的拒食活性。田间小区试验表明,用川楝素防菜青虫,500~800ppm便可起到良好的保护效果。川楝提取物还可影响菜青虫的生长发育而出现畸形虫体(图1、2)。另外,室内外试验证明,川楝、苦楝



a. 预蛹脱不出旧表皮; b. 死幼虫后肠突出腹部末端; c, d. 畸形蛹(示前、后翅部位呈水泡状)。

图1 用川楝素喂饲菜青虫五龄幼虫后所出现的畸形虫体(华南农业大学昆虫毒理研究室及曹毅等1984年5月)。

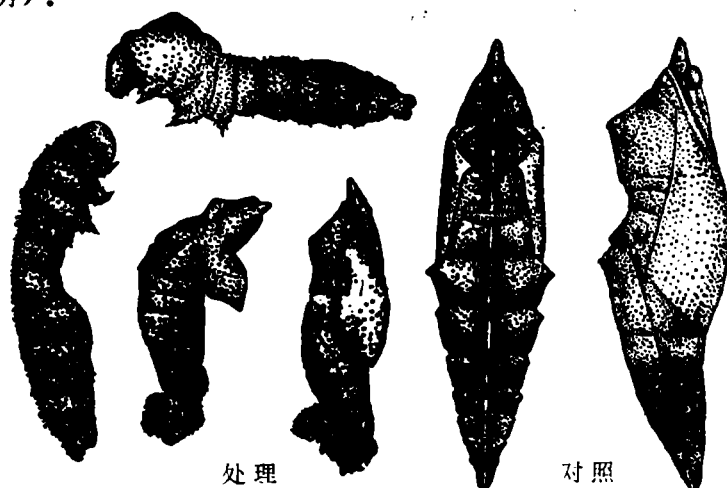


图2 用川楝种核乙醇提取物喂饲菜青虫五龄幼虫后所出现的畸形虫体(华南农业大学昆虫毒理研究室, 1984年5月)。

的提取物对稻瘿蚊 (Chiu Shin-Foon, 1984) 有明显的拒产卵活性, 并可显著降低幼虫为害引起的“标葱”发生率。最近, 大田试验表明, 0.5%苦楝油可显著地控制柑桔全爪螨 (*Panonychus citri*), 但对此虫的主要天敌捕食螨, 隘腰钝绥螨 (*Amblyseius cinctus*) 却影响甚小。除了以上几种楝科植物外, 最近华南农业大学昆虫毒理研究室又发现山楝属 (*Aphanamixis*)、米籽兰属 (*Aglaia*) 等十多种其它楝科植物也对昆虫有拒食活性, 有的还表现出生长发育干扰作用 (Chiu Shin-Foon, 1983, 1984)。

对印楝提取物干扰昆虫生长发育毒理方面的探讨也是很有意义的。印楝素对某些半翅目昆虫可单独表现出保幼激素或蜕皮激素方面的效应, 但对棉铃虫、粘虫、玉米螟等鳞翅目昆虫则表现出多方面的活性: 可抑制幼虫蜕皮、化蛹和羽化; 可导致畸形虫体的发生; 可引起不育; 可严重破坏昆虫的表皮形成, 在菜青虫上可引致类似于灭幼脲的中毒症状。从一些综合症状 (中毒昆虫的行为, 变态及各器官的病理变化) 来看, 可初步

肯定印楝素首先影响昆虫的中枢神经及内分泌系统，干扰大脑神经肽的生成，表现出不但影响昆虫的蜕皮激素，而且干扰保幼激素及其它激素，从而抑制了昆虫的生长发育和繁殖（Sieber等，1983；赵善欢等，1984）。这种系统性的影响作用在实际应用上是很重要的。并不象保幼激素类似物生长发育调节剂那样只有昆虫生长的一定阶段期间才能起作用，这更加有力地证明了印楝及其他楝科植物的提取物可能成为有前途的杀虫剂的潜力。

从以上对植物杀虫剂的扼要讨论可以看出，目前对杀虫剂所要求的较理想的特异性物质，均可以从植物界中找到。所以可以这样说，植物界即是植食性昆虫赖以生存的寄主，又是寻求优秀杀虫剂的天然宝库。这类天然物质具有对害虫不易引起抗性，资源丰富，加工方便等多种优点，如在人工模拟合成及在结构与活性关系方面的研究有所突破，无疑在害虫化学防治上是一大进展。

植物抗虫性的化学及其在抗虫育种中的作用

前已述及，每种植物均有抵御多种害虫寄生的能力，这是其经过长期进化适应的结果。有这些先天适应性基因的植物便经得起植食性昆虫种群的选择压力而增加了它们得以生存、繁衍的机会。植物抗虫性的研究实际上就是揭示这些先天适应特性并把它们应用于抗虫育种计划中去的过程。

植物抗虫的机制，除了地理分布、生态性避害、本身的组织、形态等方面的因素外，主要是其本身生物化学的特性形成的。这些特性可影响昆虫的行为或新陈代谢，从而减轻昆虫的为害。在这方面的研究中，六十年代中期的几项发现，不但很有意义，而且促进了此领域研究的继续深入。Maxwell等（1965）发现棉花中所含的二聚倍半萜槲子酚对豆芾青类（*Epicauta*）有拒食作用；山核桃（*Carya* spp.）对波纹小蠹（*Scolytus multistriatus*）的抗性是因为含有胡桃酮（Juglone）之故（Gilbert等，1967）；玉米（*Zea mays*）中所含的DIMBOA（2,4-二羟基-7-甲氧基-1,4-苯并「恶噻-3-酮」）的量及水平的变化是抗欧洲玉米螟（*Ostrinia nubilalis*）的决定因素（Klun等，1967）。一系列的研究使人们进一步认识到，植物抗虫性可能是正常生化活动次序的中断所造成，这种中断可以是刺激性物质水平的降低或受抑制，或者是因为抑制性物质水平的增高所致。所以在随后的研究中，不但重视植物抗虫性的化学，而且也注意到感虫性植物的化学。Payne（1970）报道，两种松树（*Pinus teada*, *P. ponderosa*）中所含的 α -蒎烯（ α -pinene）和3-蒎烯（3-carene）对瘤额大小蠹（*Dendroctonus frontalis*）和西松大小蠹（*D. brevicornis*）均有引诱活性（Oksanen等，1970）。水稻中草酸的含量在抗褐稻虱（*Nilaparvata lugens*）机制中有重要作用。褐稻虱不为害稗是因为其含有反-乌头酸（Kim等，1976）。栎树（*Quercus macrocarpa*）中的栎皮酮（Quercetin）是波纹小蠹的取食抑制剂，然而榆属（*Ulmus* spp.）植物中所含的 α -铁杉内酯（ α -conidendin）却可刺激这种甲虫取食（Norris，1977）。Schuh等（1984）发现几种叶蜂（*Neodiprion*, spp）不吃北美短叶松（*Pinus banksiana*）的嫩叶，是因为其中多种有机酸、主要是长叶松酸（palustric acid）含量较高。但等叶子长大，有机酸含量降

低到一定程度时便可被大量取食。特别有趣的是,某些昆虫之间的通讯物质也直接来自于植物。如西松大小蠹雌虫找到寄主后,便靠释放取之于寄主的一种化合物香叶烯(myrcene)来引诱雄虫。当诱来的雄虫数量饱和以后,雌虫便又释放摄取于寄主的 α -蒎烯的氧化物来阻止其它雄虫的到来(Edwards等,1980)。这些大量的在植物-昆虫关系方面的探讨及选育抗虫品种成功的事例(Kogan, 1975)给我们提供了这样的线索:运用控制生物内因性能的分子密码的基因技术,如核酸的种间杂交,将不同的基因型结合到一个人工品种中而组合成新的抗虫基因,来培育具有抗虫性的品种。培育抗虫的基因可把一种生物专用的某种化学物质合成的核酸片段纳入另一种生物的遗传载体中,从而引起该种生物具有生产这种物质的本领。例如马铃薯被甲虫咬食后,产生一种抑制蛋白酶的物质,可利用DNA重组技术引入另一种植物体,从而可以产生抗虫性。用这样技术培育出的品种控制了引诱害虫化学物质的产生,而促进了具驱避或抗生性能物质的生成。近代遗传工程的进展已使培育对害虫具高效而稳定的化学防御性植物品种成为可能(Maxwell等,1980)。

植物对昆虫的主动防御及在害虫防治中应用的展望

近几年来在植物抗虫性研究中发现了一种很有趣的现象:植物体除运用其正常代谢中所产生的次级代谢产物来防御害虫外,还可在某些特殊情况下“有意识”灵活地调正和运用各种其它化学手段来直接地、主动地反应于害虫的侵犯。关于这一方面, Baldwin等(1983), Maugh (1982), Patrusky (1983) 等已作了详细的报道和论述。

这方面的研究是从探讨植物对致病菌入侵的反应(产生植物防御素)开始的,并取得了很大的进展。这些进展又启发了科学家们去探索植物对害虫的主动防御性。如美国一位生物学家Schultz观察到,在1980年舞毒蛾严重发生的区域内,当1981年再度大发生时却为害甚轻。这些研究结果表明先年受害区的树叶内,红栎单宁的含量增高,叶组织木质化程度也较高。巴拿马昆虫学家Smith的研究表明,在一种葡萄树上连续饲养燕蛾幼虫三代以上则可显著降低这种虫的生存率。他指出,可能正是这种寄主反应导致在中、南美州常发生这种害虫大规模迁移。Haukioja等1976年发现,机械损伤白桦树叶后,不但在受害树,而且在毗邻树未经伤害的树叶中总酚量在两天后都增加了,并可明显影响试虫的生长势。Baldwin等(1983)用同位素标记法于密闭条件下(图8)在盆栽杨树、糖槭、柳树上重复了这个试验,并指出植株之间是靠气

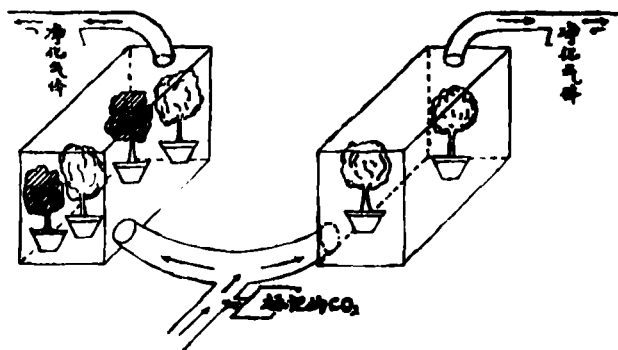


图8 测试树苗之间相互“对话”的装置(Baldwin等, 1983)。机械损伤的树苗(着斜线)与未受伤的树苗同处一有机玻璃罩内,右边罩内的植株为对照。

很多研究证明,植物在受到害虫为害、甚至在受到机械损伤后,受害细胞可以释放出细胞壁碳水化合物馏份,扮演高分子信使的角色而向其它细胞发出警报,引致植株体内化学发生变化而产生主动防御。甚至植株之间还可以通过信息传递而相互“对话”,而使毗邻未受害的植株体也诱发出相应的化学效应。这当时还是初步的观察,有待于更多的实验来证明。

植物诱发的防御性反应,可以分为短期和长期两种类型。短期反应较为迅速,但只能减轻本代昆虫种群的为害。而长期反应则可对昆虫的后代发生影响,这种反应的消失要经历一定的时间。如瑞士昆虫学家Georgy Benz发现,经灰线小卷蛾为害而在落叶松中所诱发的抗虫性大约在五年后才逐渐消失。这可能是解释某些林业害虫表现出周期性发生较有说服力的根据。这对目前的害虫测报工作很有指导意义。Schultz认为,植物通过体内化学反应而主动控制害虫的能力比自然界中任何其它单一因素显得更为重要。过去人们很少考虑植物主动防御反应的产生和消失,这一因素可能是导致测报工作有时失败的一个主要原因。

研究表明,植物在受害后所产生的主动防御性反应的机制,可能与以下4类物质的诱发或引致含量的增加有关:降低消化能力的物质如酚类和蛋白酶抑制剂;生物碱类及其它神经传递作用抑制剂;可产生不完全蛋白质的氨基酸类物质;高活性物质如萜烯类、醌类等。同时,植物的防御反应作用于害虫的表现形式也可分为4种:影响取食;加剧其在植株上的活动或发生迁移而增加了暴露于天敌及其它不利环境的机会;影响昆虫的消化、吸收而抑制其生长发育;和直接毒杀作用。

值得注意的是在这一领域中的研究重点是要探讨植物防御性物质的诱发因子,特别是植株之间借以“对话”的气载信息。因为在这方面的突破在实际应用上是很有价值的,有可能会使未来的害虫管理进入所谓的“预防性农业”(Prophylactic agriculture)阶段。就是要准确的预知害虫发生期,然后人为的活化植物的主动防御性来控制害虫的种群数量。当然,培育易诱发出高活性防御物质的品种,也是这一阶段中害虫防治的重要内容。Kaufman等已报道了两种不同类型诱发剂的人工合成,其效率要高出天然诱发剂约10倍,显示了实际应用的可能性。

未来的害虫管理可能变得更为复杂,但综合性更强。Albersheim认为,植物细胞壁复杂的化学组成,除了可作为抗虫性诱发因素外,完全还可作为调节植物生长的上百种激素类信息的源泉。施用某些专化性信息物质,还可以控制开花、结果的时间及生长速度等等,来抵御或避过不良环境的影响,并可改善品质、提高产量(Patrusky,1983)。Edwards等(1980)对昆虫-植物关系的生态学方面也作了详尽的论述。特别是White(1984)在澳洲通过大量的观察和研究发现:降水、干旱、温度、光照、施用化学物质、物理损伤、土壤营养、病菌侵染及各种农事操作均可使植物产生应力而影响到植物体内氮素代谢的变化,而可溶性氮素的浓度对害虫的发生发展有着直接的关系。所以如相应改变环境的应力或施用可干扰氮素代谢的药剂而降低可溶性氮素的水平,不但可控制害虫的大发生,而且有助于改善品质,提高产量。显然从这些论述中我们可以明显看出,未来的害虫管理将要结合整个植物生产的生物化学及化学生态学去综合考虑而成为

表 1 与植物-昆虫关系有关的植物次生物质*

化 合 物 类别 (例)	物 大约种数	在植物中的分布	对昆虫的生物活性
含氮化合物			
生物碱类 (烟碱)	5500	被子植物, 富含于根、叶、果	毒杀、拒食、抗生
胺类 (挥发性胺)	100	被子植物, 富含于花	驱避
生氰糖苷类 (蕃茄素)	30	广泛分布, 富含于果、叶	毒杀、拒食
萜烯类			
单萜 (香芹酮)	1000	广泛分布, 富含于挥发性油	驱避、拒食
倍半萜内酯 (Warburganal)	600	富含于菊科, 及其它被子植物	驱避、拒食、抗生
二萜 (ajugarens)	1000	广泛分布, 富含于树脂	拒食、抗生
柠檬素类 (印楝素)	280	楝科、芸香科、苦木科	拒食、抗生、干扰生长发育
葫芦素类 (葫芦素)	50	富含于葫芦科	拒食、抗生
醌酚类			
酚类 (棉子酚)	200	叶子及其它组织	拒食、抗生
黄酮类 (包括丹宁类)	1000	被子植物及蕨类	拒食、抗生
醌类 (胡桃酮)	500	广泛分布, 富含于鼠李科	拒食
其它			
聚乙炔类 (聚 4 炔甲酯)	650	菊科、伞形科	拒食
糖苷类 (茄碱)	不详	茄科、茜草科、马鞭草科等	拒食
香豆素类 (呋香豆素)	不详	豆科、芸香科等	拒食
木聚糖类 (pipernone)	不详	樟科等	拒食、抑制生长发育

* 根据 Edwards 等 (1980), Koul, (1982) 等资料汇编

一个主要特点。

上述四个问题都是围绕着植物与昆虫之间的关系而谈的, 它们之间是具有内在联系的。我们主要从生物化学(所涉及的主要化合物类群可参看表 1)及生态学方面来讨论。对植物杀虫剂的深入研究, 今后可能获得对环境安全而对害虫不产生抗药性的新一代农药, 免除过去化学农药的缺点。阐明作物抗虫的遗传基因, 可以培育出相对稳定的高抗优良品种。对植物对害虫主动防御的探索, 可以在害虫预测预报上获得新的进展, 即过去预测害虫的大发生的数学模式主要依据气候或天气的变化对害虫种群的影响及寄生性、捕食性天敌及病菌等对害虫种群的抑制, 而对植物本身的防御能力没有考虑在内, 这是一很大漏洞。另一方面是“活化”植物使它具有抵抗害虫或病菌的能力, 达到所谓“预防性农业”的境界, 这方面已初步获得一些成功的例子。

总之, 对植物与害虫之间的关系方面的深入研究在今后的害虫综合管理中无疑具有深远的意义。目前, 我们要立足于我国的现实, 在积极发展常规杀虫剂的同时及时了解这一研究领域的发展动态, 并不失时机地抓住重要环节进行研究突破。只有这样, 我们才有可能在植保战线上赶超国际先进水平。

参 考 文 献

- [1] 吴文君、曹高俊、张昭东：苦树根皮粉对菜青虫的致毒作用和防治效果，《西北农学院学报》，(2) 1983：80—84。
- [2] 赵善欢：昆虫毒理学的发展方向，《中国农业科学》，(3) 1962：1—9。
- [3] 赵善欢、张兴、刘秀琼、黄端平：印楝素对亚洲玉米螟幼虫生长发育的影响，《昆虫学报》，27 (3) 1984：241—247。
- [4] 张兴、赵善欢：楝科植物对几种害虫的拒食和忌避作用，《华南农学院学报》，4 (3) 1983：1—7。
- [5] 张兴、赵善欢：几种植物性物质对米象、玉米象的初步防治试验，《粮食贮藏》，48 (1) 1983：1—7。
- [6] Baldwin, T. ; C. Schultz 1983 Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: evidence for communication between plants. *Science* (221) : 277—278.
- [7] Bowers, W. S. 1976 Anti-juvenile hormones from plants: chemistry and biological activity. In "Natural Products and the protection of Plants". *Proceedings of a Study Week at the Pontifical Academy of Sciences, Oct. 18-23, 1976. pp. 129-141.*
- [8] Bowers, W. S. ; R. Nishida 1980 Juvocimenes: potent juvenile hormone mimics from sweet basil. *Science* (209) : 1030-1032.
- [9] Chiu Shin-Foon 1983 The active principles and insecticidal properties of some chinese plants with special reference to Meliaceae. *Proc. 2nd Int. Neem Conf. (Rauischholzhausen, 1983)* . PP.255—262.
- [10] Chiu Shin-Foon 1984 Recent research findings on Meliaceae and other promising botanical insecticides in China. *Forum : Research Planning Workshop on Botanical Pest Control Project IRRI Los Banos, 6—10 August, 1984.*
- [11] Cox, A. 1981 Neem---Pesticide potential. *International Pest Control* 23 (3) : 68-71.
- [12] Edwards, P. J. ; S. D. Wratten 1980 Ecology of insect-plant interactions. *Printed and Bound in Great Britain.*
- [13] Gilbert, B. L. ; J. E. Baker and D. M. Norris 1967 Juglone (5-hydroxy-1, 4-naphthoquinone) from *Carya ovata*, a deterrent to feeding by *Scolytus multistriatus*. *J. Insect Physiol.* (13) : 1453-1459.
- [14] Imai, S. ; T. Toyosato; M. Sakai; Y. Sato; S. Fujika; E. Murata; M. Goto 1969 Screening results of plants for phytoecdysone. *Chem. Pharm. Bull. (Japan)* (17) : 335.
- [15] Kim, M.; H.S.Kon; T.Obata; H. Fukami; S. Ishii 1976 Isolated and identification of transaconitic acid as the antifeedant in barnyard grass against the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal) . (Homoptera : Delphacidae) . *Applied Ent. and Zoology* 11 (1) : 53-57.

- [16] Klun, J. A. ; C. L. Tipton and T. A. Brindley 1967 2, 4-dihydroxy-7-methoxy-1, 4-benzoxazin-3-one (DIMBOA), an active agent in the resistance of maize to the European corn borer. J. Econ. Entomol. (60) : 1529-1533.
- [17] Kogan, M. 1975 Plant resistance in pest management. In "Introduction to Insect Pest Management", pp. 103-146. R. L. Metcalf and W. Luckman Eds. John Wiley & Sons. New York.
- [18] Koul, O. 1982 Insect feeding deterrents in plant. Indian Rev. Life Sci. (2) : 97-125.
- [19] Maugh, T. H. 1982 Exploring plant resistance to insect. Science (216) : 722-723
- [20] Maxwell, F. G., H. N. Lefever and J. N. Jenkins 1965 Blister beetles on glandless cotton. J. Econ. Entomol. (58) : 792-793.
- [21] Maxwell, F. G. ; P. R. Tennings 1980 Breeding Plants Resistance to Insect. New York.
- [22] Norris, D. M. 1977 The role of repellents and deterrents in feeding of *Scolytus multistriatus*. In the chemical basis for plant resistance to pests. American Chemical Society, Washington D. C.
- [23] Norris, D. M., M. Kogan 1980 Biochemical and morphological basis of resistance. In "Breeding Plants Resistant to Insects". pp. 23-62. Edited by Maxwell, F. G. and P. R. Tennings. New York.
- [24] Oksanen, H. ; V. Perttunen and E. Kangas 1970 Studies on the chemical factors involved in the olfactory orientation of *Blastophagus piniperda* (Coleoptera : Scolytidae). Contrib. Boyce Thompson Inst. (24) : 275-282.
- [25] Patrusky, B. 1983 Plants in their own behalf. Mosaic 14 (2) : 32-39.
- [26] Payne, T. C. 1970 Electrophysiological investigations on response to pheromones in bark beetles. Contrib. Boyce Thompson Inst. (24) : 275-282.
- [27] Schmutterer, H. ; G. Tervooren 1980 The effect of squeezed juice and crude extracts of *Ajuga* species on feeding activity and metamorphosis of *Epilachna varivestis*. (Col. : Coccinellidae). Zeitschrift fur angewandte Entomologie (89) : 470-478.
- [28] Schmutterer, H. ; K. R. S. Ascher, H. Rembold 1981 Natural Pesticides from the Neem Tree (*Azadirachta indica* A. Juss). Proc. 1st Int. Neem Conf., W. Germany, June, 1980.
- [29] Schuh, B. A. ; D. M. Benjamin 1984 Evaluation of commercial resin acid as feeding deterrents against *Neodiprion dubiosus*, *N. lecontei*, and *N. rugifrons* (Hymenoptera : Diprionidae). J. Econ. Ent. 77 (3) : 802-805.
- [30] Sieber, K-P. ; H. Rembold 1983 The effects of azadirachtin on the endocrine control of moulting in *Locusta migratoria*. J. Insect physiol. 29 (6) : 523-527.
- [31] Taylor, D. A. H. 1983 The chemistry of the Limonoids from Meliaceae. In "Progress in the Chemistry of Organic Natural products". pp. 2-93.
- [32] White, T. C. R. 1984 The abundance of inveterbrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. Oecologia (Berlin) (63) : 90-105.

THE SELF-DEFENSE OF PLANTS AGAINST INSECT ATTACK

Chiu Shin-Foon

Zhang Xing

(Department of Plant Protection)

ABSTRACT

This paper gives a concise introduction of insect-plant relationships, the recent development on the investigations of botanical insecticides, the chemistry of plant resistance to insects in relation to the breeding of resistant varieties, and the active defense of plants against insect attack in relation to insect control. These four problems are closely interrelated. The discussions were mainly based on the biochemistry and ecology point of view and some of the results of research on botanical insecticides relevant to this area recently carried out in the Laboratory of Insect Toxicology, South China Agricultural University were presented. In forecasting of insect outbreaks the authors pointed out that usually mathematical models upon which predictions were based centered on two major assumptions. One was the fluctuations in weather acted as the main determination of insect abundance and the other had to do with the interplay of such biological factors as parasites, predators, and pest pathogens. These predictive models sometimes failed because they were predicted on the belief that plants played a totally passive role in population dynamics, while in fact, it is the plant that is really pulling the strings. In China, investigations on insecticides from natural products and the defense mechanisms of plants to insect attack undoubtedly lead to breakthroughs in the system of integrated pest management (IPM).